

傾斜ケーブルの空気力評価における風洞実験模型の端部条件の影響について

京都大学大学院工学研究科	学生員	○梁 子豊	京都大学大学院工学研究科	正会員	八木 知己
京都大学大学院工学研究科	正会員	白土 博通	新日本製鐵株式会社	正会員	内藤 寛子
			京都大学大学院工学研究科		竹内 隼矢

1. はじめに

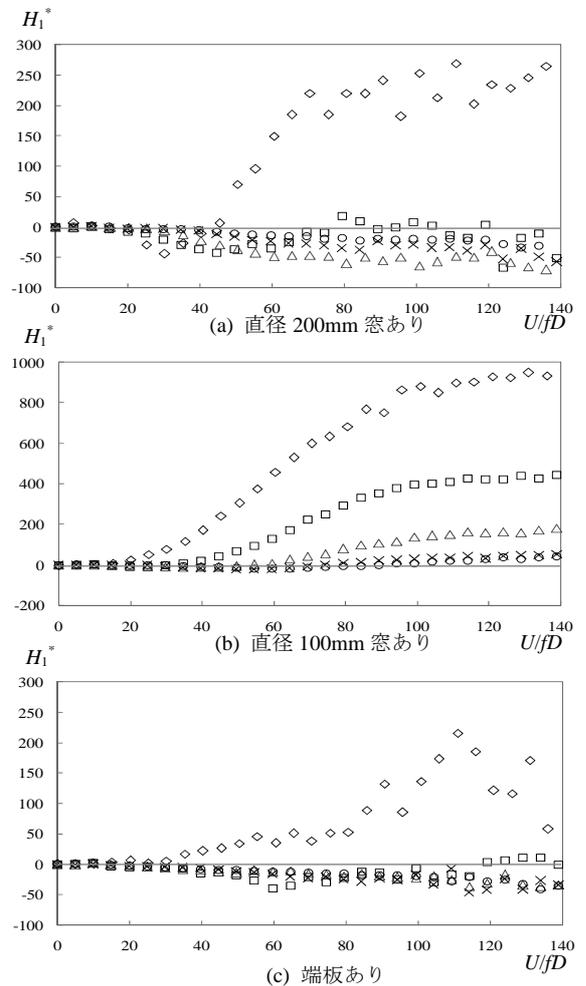
斜張橋ケーブルの空力振動現象の発生メカニズムについては、軸方向流れ、上面側水路、臨界レイノルズ数の効果等¹⁾が指摘されており、その解明が進んでいるが、実際の耐風設計を行う上で必要な空気力の評価は、未だ定量的に行われていないと言えない。その理由として、傾斜ケーブルの風洞実験を行う際に、模型端部の影響を強く受けた3次元的な効果が現れることが挙げられる。過去の研究²⁾で、直径54mmの傾斜円柱に対して、a)「直径200mm窓あり」、b)「直径100mm窓あり」、c)「端板あり」の3種類の端部条件において、自由振動実験を行った結果、a),b)の両ケースでギャロッピングが発生し、b)のケースの方が不安定化、c)のケースでは発散振動は発生しなかった。本研究では、上記の3端部条件において、傾斜円柱模型のスパン方向に非定常圧力を測定することで、模型端部条件と空気力の3次元性に関する考察を行った。ただし、本研究では亜臨界レイノルズ数帯域で風洞実験を行っており、また水路は付加していないため、軸方向流れによるギャロッピングの空気力評価となっている。

2. 実験方法

本研究では、直径 $D=50\text{mm}$ 、長さ 1500mm の円柱模型を風路幅 1m の風洞に水平偏角 $\beta=45^\circ$ で設置し、模型の風洞内有効長さは $L=1414\text{mm}$ とした。円柱模型には、圧力測定用の圧力孔が、円周方向に24点設置されており、その位置をスパン方向に変化できるステンレス製模型(model A)、模型スパン方向に圧力孔が24点一列に並んでおり、模型を回転させることで円周方向に圧力孔の位置を変化できるアルミニウム製模型(model B)の2種類を用いた。圧力孔の位置は、ケーブル上流端側の風洞壁からの距離 X と模型前縁よどみ点からの角度 θ で表わすこととする。本研究では、倍振幅 $2\eta_0=20\text{mm}$ 、振動数 $f=2.0\text{Hz}$ で強制加振させた状態で、各圧力孔での非定常圧力を測定し、Scanlan³⁾により提案された非定常空気力係数 H_1^* に換算した。 H_1^* の正負は、それぞれ空気力による励振力と減衰力を示す。

3. スパン方向の各断面における空気力特性

傾斜円柱模型 model A を用いて、上流側からの位置 $X/L=0.11, 0.33, 0.50, 0.71, 0.92$ において、3種類の端部条件の下で非定常圧力を計測した結果を Fig.1 に示す。ただし、本図に示されている非定常空気力係数 H_1^* は、各断面で円周方向に積分された値である。全ての端部条件において、上流端側で励振力が働いていることがわかり、特に「直径100mm窓あり」のケースでは、その励振力が極めて大きく、自由振動実験結果とよく対応している。また、下流側に向かう程、スパン方向の変化が小さくなっている。「直径200mm窓あり」と「端板あり」のケースでは、下流側において、負で比較的近い値を示しているが、「直径100mm窓あり」のケースでは正の値をとっており、端部条件の違いが、下流側にまで及んでいることが判明した。



◇: $X/L=0.11$, □: $X/L=0.33$, △: $X/L=0.50$,
 ×: $X/L=0.71$, ○: $X/L=0.92$

Fig.1 各断面の非定常空気力係数 H_1^*
 (model A, $\beta=45^\circ$, $D=50\text{mm}$, $2\eta_0=20\text{mm}$, $f=2.0\text{Hz}$)

キーワード 斜張橋ケーブル, ギャロッピング, 軸方向流, 端部条件, 非定常空気力

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3167

4. スパン方向の空気力特性変化

次に、スパン方向の空気力特性変化をより詳細に見るために、傾斜円柱模型 model B を用いて、スパン方向に非定常圧力を計測した。前節で示した各断面における H_1^* で最も寄与率の高い $\theta=75^\circ$ の位置における、 H_1^* のスパン方向分布を一例として、Fig.2 (a) に示す。「直径 200mm 窓あり」及び「端板あり」のケースでは、スパン中央より上流側では大きく変動しているが、スパン中央より下流側ではほぼ一定であり、端部の影響を受けていないと考えられる。一方、「直径 100mm 窓あり」のケースでは、 H_1^* の値が上流端から下流端に至るまで大きく変動しており、端部条件の影響を除去するためには、より長いケーブル模型が必要と思われる。さらに、「直径 100mm 窓あり」のケースでは、振動中に模型表面と窓枠が接近することにより、特殊な流れが生じている可能性もあり、ある程度大きな窓にする必要があると思われる。

5. スプリッタープレートの効果

上述の通り、端部条件として比較的大きめの窓を開けるか、端板を設置した状態で、上流端からある程度離れた場所であれば、端部条件の影響を受けずに空気力を評価できる可能性が示唆された。しかし、風洞内における軸方向流れの強さが、実際の斜張橋ケーブルの状態を再現できているのかは不明であり、本実験の「直径 200mm 窓あり」及び「端板あり」のケースにおける下流側では軸方向流れの強度が不足している可能性もある。そこで、本研究では軸方向流れによる効果を補う意味で、厚さ 3mm、長さ 983mm のスプリッタープレートを模型背後 5mm の位置に挿入した。Fig.2 (a) のケースにスプリッター板を挿入した結果を Fig.2 (b) に示す。全体的に空気力の 3 次元性が抑えられ、上流端近くでは多少のばらつきが見られるが、スパン中央よりも下流側では、全ての端部条件でほぼ同じ結果となっている。別途行った非定常圧力のスペクトル解析等により、スプリッタープレートによって、スパン全域に渡って、カルマン渦周波数成分は低減されていることは確認された。しかし、上流端近くでは、スプリッタープレートによっても低減しない低周波数成分があることが判明し、この変動成分が上流端近くで空気力がばらついている原因と考えられる。さらに、Fig.3 に Fig.1 (c) で示した「端板あり」で $X/L=0.50$ のケースにスプリッタープレートを挿入した結果を示す。本結果は、軸方向流れが強い場合における空気力を示していると考えられるが、実際の斜張橋ケーブルに作用する空気力をより定量的に評価するためには、実橋ケーブルにおける軸方向流れの状態を測定する必要があると思われる。

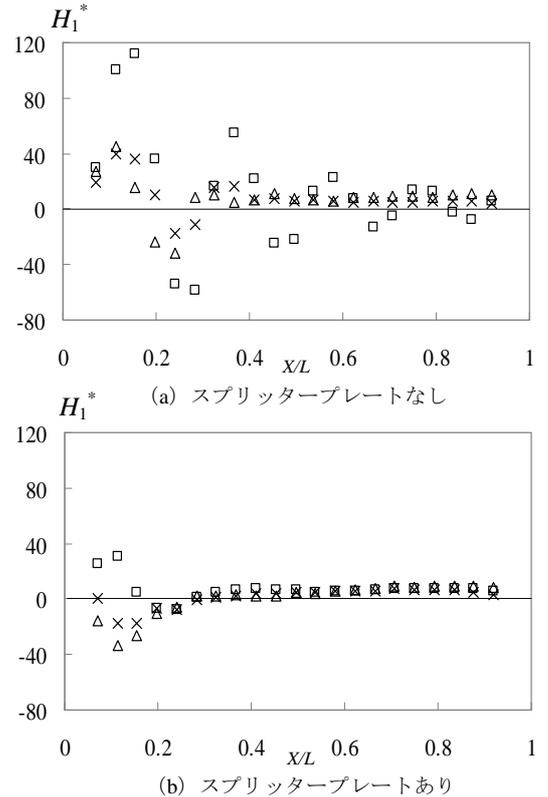
6. 結論

斜張橋ケーブルに作用する空気力を風洞実験で評価する際には、端部条件を考慮しながら、模型端部からある程度離れた位置で計測する必要があることが明かとなった。スプリッタープレートを挿入することで、軸方向流れが強い場合の励振力がある程度推定できるが、実際の斜張橋ケーブルに作用する空気力をより定量的に評価するためには、実橋ケーブルにおける軸方向流れの状態を把握する必要があると思われる。

謝辞：本研究は、平成 20 年度社団法人近畿建設協会研究助成を受けて行われた。

参考文献

- 1) M. Matsumoto, T. Yagi, Q. Liu, T. Oishi, Y. Adachi: Effects of axial flow and Karman vortex interference on dry-state galloping of inclined stay-cables, Proceedings of the Sixth International Symposium on Cable Dynamics, 2005, pp.247-254.
- 2) 松本 勝：斜張橋ケーブルの空力振動現象の解明に基づいた制振対策と損傷劣化対策に関する研究，平成 18～19 年度科学研究費補助金（基礎研究(B)，課題番号 18360218）研究成果報告書，2008.
- 3) R.H. Scanlan, J.J. Tomko: Airfoil and bridge deck flutter derivatives, Journal of Engineering Mechanics Division, Proc. ASCE., vol.97, EM6, 1971, pp.1717-1737.



×: 直径 200mm 窓あり, □: 直径 100mm 窓あり, △: 端板あり

Fig.2 スパン方向の非定常空気力係数 H_1^* (model B, $\theta=75^\circ$, $\beta=45^\circ$, $D=50\text{mm}$, $2\eta_0=20\text{mm}$, $f=2.0\text{Hz}$)

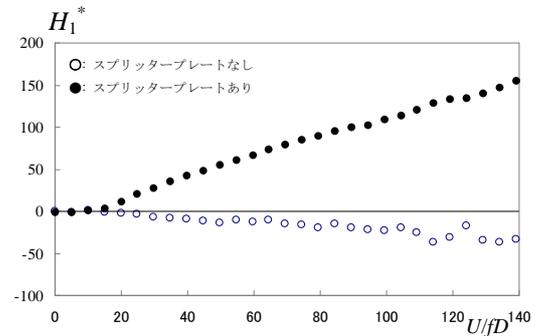


Fig.3 「端板あり」の非定常空気力係数 H_1^* (model A, $X/L=0.50$, $\beta=45^\circ$, $D=50\text{mm}$, $2\eta_0=20\text{mm}$, $f=2.0\text{Hz}$)